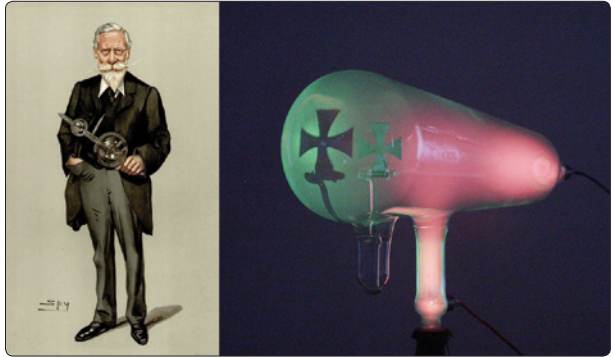


# Jagten på stoffets mindste dele

Udstillingen *Det nysgerrige menneske* har et afsnit om udforskningen af stoffets allermindste dele. Her fortælles bl.a. om, at nysgerigheden efter at trænge ind i materiens mikroverden krævede nye metoder og instrumenter for at give resultat. I det følgende uddybes nogle af udstillingens historier.

I løbet af 1800-tallet opdagede fysikerne gang på gang nye fænomener, som afslørede, at den fysiske verden var langt mere kompleks og fascinerende end det, vi umiddelbart kan se med det blotte øje. F.eks. åbnede elektromagnetismen et helt nyt forskningsområde inden for fysikken, og studiet af det lys, som forskellige stoffer udsender ved opvarmning, ledte til opdagelsen af nye grundstoffer.

I anden halvdel af århundredet blev elektriske udladningsrør brugt til at studere både elektricitetens og forskellige stoffers egenskaber. Det førte til opdagelsen af både usynlige stråler og partikler – og efterhånden



*Den flamboyante fysiker William Crookes undersøgte katodestråler med et særligt udladningsrør, som siden er blevet opkaldt efter ham. Her ses det, hvorledes rørets glasvæg lyser grønt, når den bliver ramt af strålerne. Skyggen af malteserkorset i røret viser, at katodestrålerne bevæger sig ad rette linjer. Kilde: Vanity Fair og Zátonyi Sándor (CC).*

en langt dybere forståelse af det stof, som alt i vores verden er opbygget af.

## Katodestråler

I 1870'erne opdagede den britiske fysiker William Crookes nogle mystiske stråler, da han eksperimenterede med elektriske udladningsrør. De blev kaldt katodestråler, fordi de strømmede ud fra den negative elektrode – katoden – i røret. Crookes viste, at strålerne normalt bevægede sig ad rette linjer, men også at de kunne afbøjes med en magnet, således at deres bane blev krum. Derfor antog

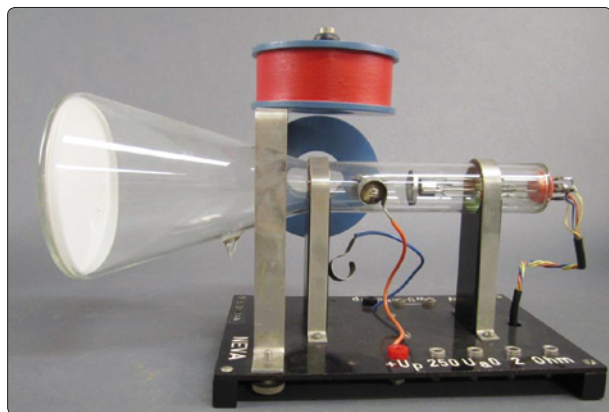
han, at de bestod af ladede partikler. Måske en slags atomer eller molekyler?

Hvis det var ladede partikler, skulle de også kunne afbøjes af et elektrisk felt. Så det forsøgte tyskeren Heinrich Hertz nogle år senere. Men uden succes. Derfor konkluderede han, at katodestrålerne i stedet måtte være en form for elektromagnetiske bølger.

Så var de bølger eller partikler? Partikler eller bølger?

## Elektronen – den første elementarpartikel

Takket være bedre udstyr



*I udstillingen Det nysgerrige menneske kan man se en nyere udgave af den type katodestrålerør, som Thomson brugte til sine forsøg. Røret er formodentlig fra 1960'erne og har været brugt til undervisning. Foto: Mary Marie Kromann.*

lykkedes det i 1897 den britiske fysiker J.J. Thomson at svare på dette spørgsmål. Thomson udviklede nemlig et specielt katodestrålerør, som dels kunne frembringe en meget tynd stråle, dels havde et meget bedre vakuum. Med det kunne han vise, at strålerne også kunne afbøjes af et elektrisk felt.

Hermed havde Thomson fastslået, at katodestrålerne bestod af negativt ladede partikler. Men ikke nok med det. Han gennemførte også nogle eksperimenter, hvor han afbøjede strålerne både elektrisk og magnetisk på samme tid. Derved blev han i stand til at måle forholdet mellem partiklernes ladning

og masse – og så kom den store overraskelse. Det viste sig nemlig, at partiklerne i katodestrålen var over tusinde gange lettere end det letteste, man kendte: brintatomet. Dermed havde Thomson identificeret elektronen som den første kendte elementarpartikel.

### **Både videnskabelig og teknologisk betydning**

Thomson mente, at disse elektroner – eller corpuscler, som han kaldte dem – stammede fra atomernes indre. Det var en dristig teori, for hvis det var rigtigt, betød det, at atomerne ikke var udelelige, som man hidtil havde troet. Spørgsmålet om

atomernes opbygning har optaget fysikere lige siden.

Thomsons eksperimenter fik med tiden også stor teknologisk betydning. Billedrøret i et gammeldags fjernsyn er nemlig udviklet fra Thomsons katodestrålerør. Det virker ved, at man med elektriske og magnetiske felter styrer en elektronstråle, så den kan danne et lysende billede på en fluorescerende skærm for enden af et katodestrålerør.

### **Howdan er atomer opbygget?**

Som nævnt foreslog Thomson, at atomer måtte have en eller anden indre struktur. Men det lykkedes ham ikke at afsløre denne struktur. Det blev i stedet den new zealandske fysiker Ernest Rutherford og hans assistenter Hans Geiger og Ernest Marsden, der som de første fik et kikk ind i atomets indre.

Nu kan man selvfølgelig ikke direkte se ind i atomer, som er ufatteligt små. I stedet beskød Rutherford en tynd guldfolie med en stråle af alfapartikler fra det radioaktive grundstof radium. Derved kunne han, ligesom en blind person mærker jorden med sin

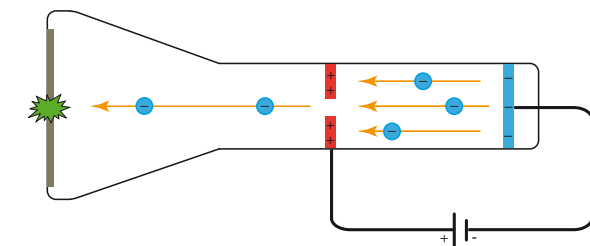
stok, "mærke" på atomerne i folien, ved at se på, hvordan de påvirkede strålen af alfapartikler. Som tidligere beskrevet i *Stenomusen* viste det sig, at nogle af partiklerne fuldstændig ændrede retning. Det fik ham i 1911 til at konkludere, at det meste af atomets masse er samlet i en lille, positiv kerne, som elektronerne så bevæger sig omkring. (Se "Bohr og atommodellerne", *Stenomusen* 80, 47.)

### Søger i dybet den faste grund

I de følgende år fortsatte Rutherford denne type "beskydningsforsøg" i håbet om at trænge dybere ind i atomet og få et kig på, hvordan atomkernen er opbygget.

I 1919-20 opdagede han, at der blev udsendt brintkerner, når han beskød nitrogen med alfapartikler. Dette resultat kunne bedst fortolkes ved at forestille sig, at alfapartiklen trængte ind i en nitrogenkerne, som derefter blev omdannet til en oxygenkerne samtidig med, at der blev udsendt en brintkerne.

Dette var bemærkelsesværdigt af flere grunde. Bl.a. var det jo en realisering af alkymisternes gyldne



*Tidligere havde de fleste mennesker en partikelaccelerator stående i stuen, formodentlig uden at vide det. Billedrøret i et gammeldags fjernsyn var nemlig et katodestrålerør – og det er netop en elektronaccelerator. Elektronerne accelereres ved hjælp af et elektrisk felt mellem to elektroder i den smalle ende af røret. Når strålen af elektroner rammer den fluorescerende skærm i den brede ende af røret, dannes der en lysende plet. Grafik: Knud Erik Sørensen.*

drøm om at kunne omdanne ét grundstof til et andet.

Resultatet tydede også i høj grad på, at brintkernen måtte indgå som en byggeklods i tungere atomkerner. Derfor mente han, at den burde have et selvstændigt navn. Og da brintkernen tilsyneladende var den primære partikel i atomkernen, lod han sig inspirere af det græske ord for "først", nemlig "*protos*", og navngav partiklen proton. Hermed var der opdaget eller identificeret to elementarpartikler.

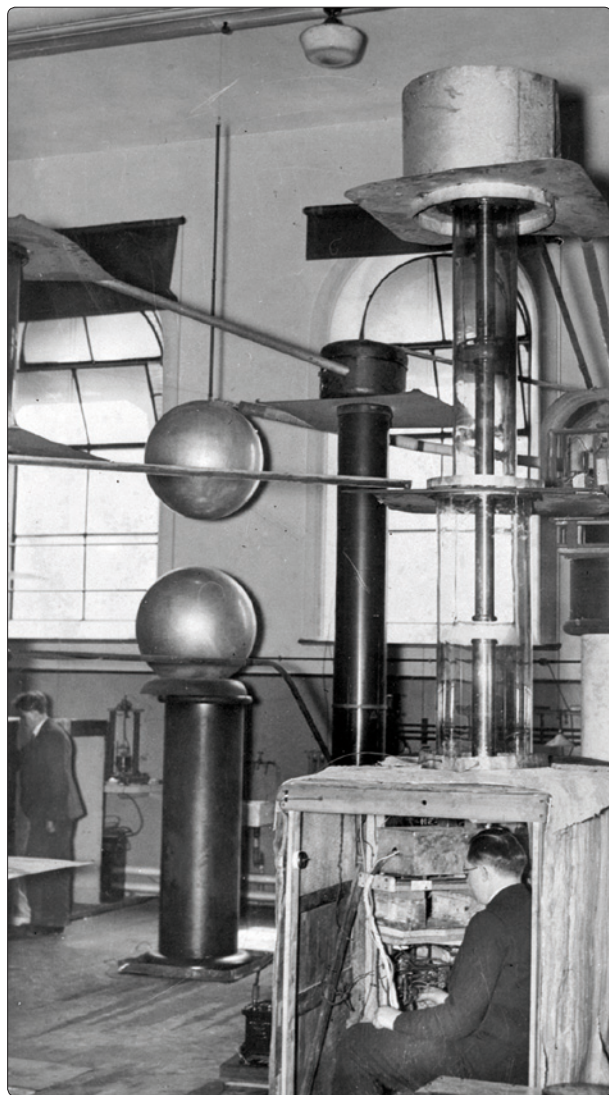
I 1932 blev den tredje elementarpartikel, neutronen – som også indgår i atomkerner – ligeledes fundet ved hjælp af en stråle af alfapartikler. I dette tilfælde

kom de fra det radioaktive grundstof polonium og blev skudt på en folie af beryllium.

### Acceleratorer

Selvom det havde ført til mange vigtige opdagelser at beskyde forskellige stoffer med alfapartikler fra radioaktive grundstoffer, var der fysikere som indså, at man var nødt til at have nogle "projektiler" med meget mere energi, hvis man for alvor ville studere atomkernen.

Derfor byggede Rutherfords assistent John Cockcroft og Ernest Walton omkring 1930 et apparat, som ved hjælp af en højspænding på omkring 800.000 V kunne accelerere protoner



*Det var ret ubekvemt at arbejde med verdens første protonaccelerator. Her sidder Walton i en blyforet kasse under acceleratoren og observerer de dannede alfapartikler. Det krævede fuld opmærksomhed, for partiklerne blev udelukkende registreret i kraft af det lille lysglimt, der blev dannet, når de ramte en fluorescerende skærm foran sammenstødsstedet. Foto: © the Cavendish Laboratory, University of Cambridge.*

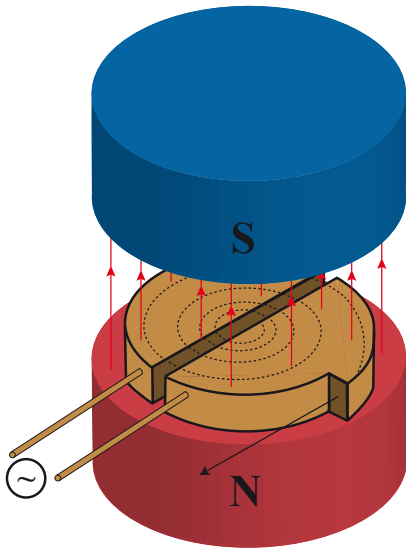
til høj hastighed. Derved kunne de lave en protonstråle, som de skød ind på et stykke litium. Til deres store forundring blev der dannet alfapartikler, hvilket fik den ellers stille Cockcroft til begejstret at råbe: "Vi har spaltet atomet!"

Det stod hurtigt klart, at endnu kraftigere partikelacceleratorer kunne give endnu dybere indsigter. Men man kunne ikke bare blive ved med at øge den elektriske spænding, da det bare ville skabe gnister i stedet for mere energirige stråler.

### Rundt og rundt

For at undgå gnistdannelse har forskellige fysikere fundet på accelerators, hvor partiklerne kører i ring. Så kan man genbruge spændingen mange gange og på den måde opbygge høj energi, ligesom man kan få en gyngende til at svinge meget højt med mange små skub.

Den første af den slags maskiner var cyklotronen, som blev opfundet i USA af Ernest Lawrence i 1929. Den accelererede ladede partikler mellem to D-formede elektroder, som var tilsluttet en vekselspen-



De to hule, D-formede kobberelektroder i en cyklotron er tilsluttet en højfrekvent vekselspænding, som danner et elektrisk felt mellem elektroderne. Når spændingen skifter retning, bliver en ladet partikel accelereret over mod den modsatte elektrode. Frem og tilbage. Samtidig får et magnetfelt partiklerne til at bevæge sig i en cirkelbane inde i elektroderne. Tilsammen får det partiklerne til at bevæge sig stadig hurtigere i en spirallignende bane. Grafik: Knud Erik Sørensen.

ding. Samtidig var der et kraftigt magnetfelt på tværs af elektroderne, som afbøjede partikelstrålen, så den kunne spiralere frem og tilbage mellem elektroderne, indtil den havde opnået den ønskede energi.

Da cyklotroner hurtigt viste sig at kunne give yderligere indsigt i atomkernerens opbygning og egenskaber, fik Niels Bohr allerede

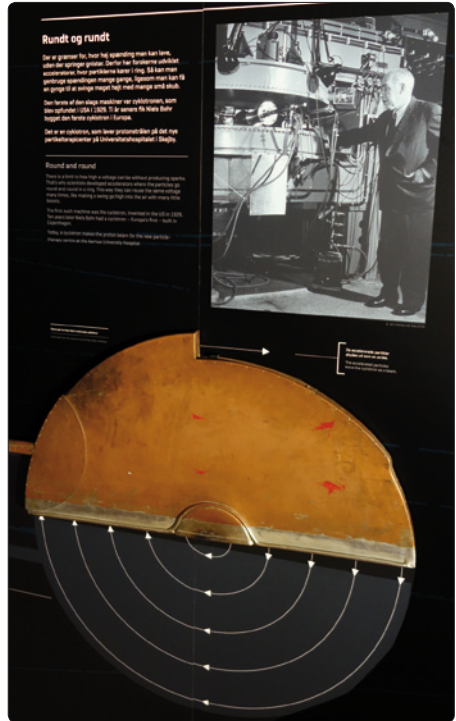
i 1938 bygget den første cyklotron i Europa på sit institut. Da denne cyklotron blev taget ud af drift i 1993, indsamlede Steno Museet en af de D-formede elektroder. Så den kan i dag ses i udstillingen *Det nysgerrige menneske*.

**Cyklotroner bruges stadig**

I dag bruger man ofte andre typer af accelerators til den

fysiske grundforskning. Men cyklotroner anvendes stadig i vid udstrækning til fremstilling af radioaktive isotoper til medicinsk diagnose og behandling. Som man kan se i udstillingen, er det også en cyklotron, som laver protonstrålen på det nye partikelterapicenter på Aarhus Universitetshospital i Skejby.

Hans Buhl



I udstillingen kan man se en af de D-formede elektroder fra Niels Bohr Institutets cyklotron. Foto: Hans Buhl.